

ИСТОЧНИКИ МЕЛКОМАСШТАБНЫХ СТРУКТУР СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

А.В. Кудрявцева, Д.В. Просовецкий

Институт солнечно-Земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
kudryavtseva@iszf.irk.ru

ORIGIN OF SMALL-SCALE STRUCTURES OF THE SOLAR WIND

A.V. Kudryavtseva, D.V. Prosovetsky

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia
kudryavtseva@iszf.irk.ru

Аннотация

В потоках солнечного ветра на изображениях коронографов наблюдаются мелкомасштабные неоднородности, более яркие по отношению к фону и перемещающиеся радиально по направлению от Солнца. В работе представлено подробное изучение движения одной из таких неоднородностей 15 января 2011 г. по одномоментным наблюдениям двух космических аппаратов STEREO. Определены размеры наблюдаемой неоднородности и ее скорость. Было вычислено, что средняя скорость неоднородности на расстоянии 1.6–11.8 солнечных радиусов составила 160 ± 30 км/с. Радиальные размеры на указанных расстояниях были оценены около 1 солнечного радиуса. С учетом данных о позиционных углах и изображениям в ультрафиолетовом диапазоне, сделано предположение, что формирование неоднородности произошло вблизи активной области NOAA 11146.

Ключевые слова: Солнце — корона, корональные джеты; данные — видимый свет, ультрафиолет.

Abstract

There are bright, small-scaling features in the solar wind flows, moving outward the Sun. In this paper, we present the detailed study of the motion of one of these features by simultaneous data from two STEREO spacecrafts on 2011 January 15. It was found, that size in the radial direction is about 1 solar radii and the mean apparent velocity is 160 ± 30 km/s at distances 1.6–11.8 solar radii. We took into account information about positional angles and EUV-images and assumed that the feature originated from the area near the active region NOAA 11146.

Keywords: Sun — corona, polar coronal jets; data — white-light observations, UV radiation.

ВСТУПЛЕНИЕ

Солнечный ветер (СВ) неоднороден по своей структуре, в нем обычно выделяют быструю, медленную и спорадическую (корональные выбросы массы) компоненты. Однако, в потоках СВ наблюдаются и другие, более мелкомасштабные и частые, по сравнению с корональными выбросами массы (КВМ), неоднородности — блобы и джеты. Одними из первых работ, в которых описывались такие явления, были публикации [St. Cyr et al., 1997; Gurman et al. 1998; Sheeley et al., 1997]. Источниками неоднородностей могут быть корональные дыры ([Wang et al., 1998; Nistico et al., 2009, 2010, 2011; Raouafi et al., 2009], участки спокойного Солнца ([Paraschiv et al., 2010]) и активные области (АО) (Shimojo et al., 1996; Chen, Innes, 2016)). Наблюдаются они как в полярных, так и в низкоширотных областях солнечной короны, что позволяет использовать их как универсальные индикаторы потоков СВ. Диапазон скоростей мелкомасштабных неоднородностей достаточно широк: от 200 км/с [Wang et al., 1998] до 1000 км/с [Yu et al., 2014]. Fillipov et al. [2013] также показал, что джеты с конфигурацией типа «Эйфелева башня», наблюдаемые в ультрафиолетовом диапазоне [Nistico et al., 2009], выглядят как узкие потоки плазмы на изображениях в белом свете во внешней короне.

Обычно считается, что джеты и блобы формируются в результате пересоединения магнитных силовых линий [Shimojo, Shibata, 2000]. Исследования [Fillipov et al., 2013] показали, что значительные изменения магнитного поля над АО может быть причиной появления джета. В работе [Joshi et al., 2017] также отмечено, что джеты могут образовываться

в результате пересоединения силовых линий магнитного поля «открытого» и «закрытого» типа.

Целью данной работы является определение области возникновения джета, наблюдаемого на изображениях STEREO в белом свете 15 января 2011 г., а также его динамических и пространственных характеристик.

ОБРАБОТКА ДАННЫХ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Космическая обсерватория STEREO состоит из двух одинаковых аппаратов, STEREO-Ahead и STEREO-Behind, движущихся вокруг Солнца навстречу друг другу по орбитам, близким к орбите Земли. Такое расположение космических аппаратов (КА) дает возможность использовать стереоскопические методы для изучения явлений, происходящих на Солнце. На каждом КА установлен комплекс SECCHI (Sun Earth Connection Coronal and Heliospheric Investigation), состоящий из ультрафиолетового телескопа EUVI (наблюдает в линиях He II 30.4 нм, Fe IX 17.1 нм, Fe XII 19.5 нм, Fe XV 28.4 нм), двух коронографов Лио COR1 (область наблюдения 1.4–4 R_{\odot}) и COR2 (2–15 R_{\odot}) и двух широкоугольных телескопов HI-1 и HI-2 (12–318 R_{\odot}) [Howard et al., 2008].

В данной работе были использованы изображения с обоих КА STEREO, полученные инструментами EUVI, COR1 и COR2, доступные на [ftp://stereoftp.nascom.nasa.gov] и обработанные с помощью процедур из библиотеки SolarSoft. Движение корональных структур хорошо различимо на изображениях бегущей разности, получаемых вычитанием предыдущего кадра из текущего. В каталогах КВМ

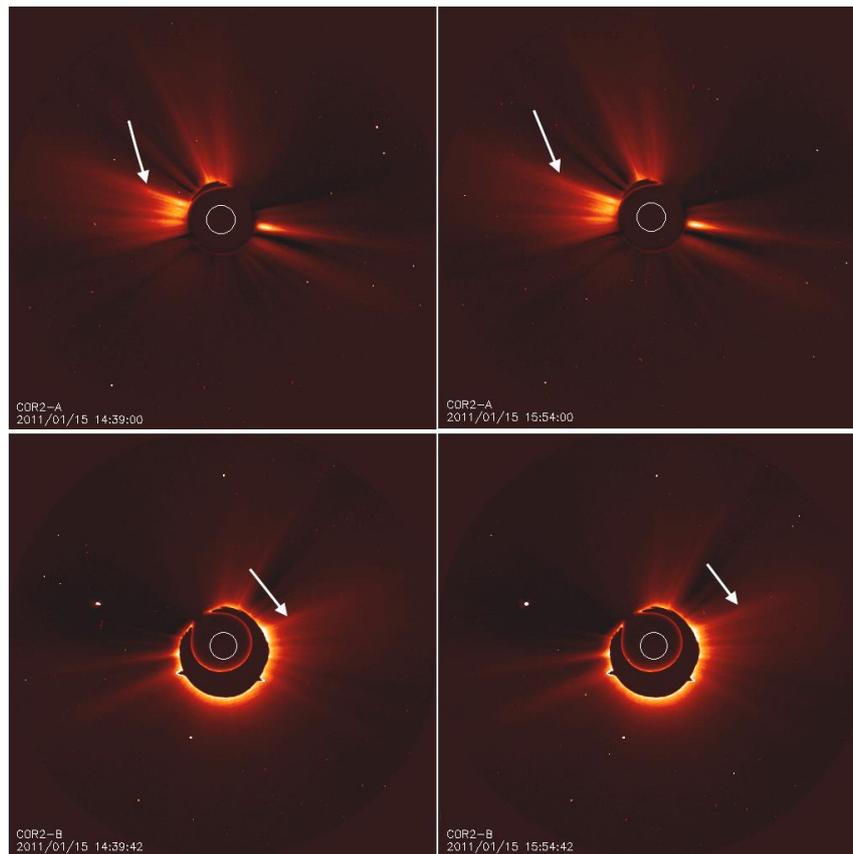


Рис.1. Изображение «бегущей разности», полученное из данных COR2/STEREO-A (верхняя панель) и COR2/STEREO-B (нижняя панель).

SOHO [https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list] и STEREO [<http://spaceweather.gmu.edu/seeds/secchi.php>] 15 января 2011 г. отмечен как спокойный день, поэтому можно предполагать, что наблюдаемые неоднородности не являются КВМ. На разностных изображениях COR2/STEREO-A, B (рис. 1) джет выглядит как вытянутый объект, более яркий по отношению к фону и перемещающийся радиально по направлению от Солнца.

Для определения скоростей неоднородностей в короне Солнца широко используется метод построения высотно-временных карт, где по оси ординат откладывается высота от центра Солнца, а по оси абсцисс — время. Движение корональных структур на высотно-временных картах выглядит как сдвоенные наклонные черно-белые полосы (треки), и предполагается, что наблюдаемый объект движется в плоскости изображения. По наклону трека вычисляется скорость перемещающегося объекта. Для наблюдаемого джета были построены такие карты для обоих КА по данным коронографов COR1 и COR2 и затем вычислена скорость как отношение пройденного расстояния ко времени.

На данных STEREO-A джет имел среднюю скорость 165 ± 30 км/с на расстояниях $1.7\text{--}11.8 R_{\odot}$; на данных STEREO-B — 155 ± 30 км/с на расстоянии $1.6\text{--}10.6 R_{\odot}$. Следует отметить, что джет двигался практически в плоскости изображения, т.к. различия в скоростях и максимальном расстоянии от Солнца незначительны и находятся в пределах погрешности. Размеры исследуемого джета составляли в ради-

альном направлении $0.8\text{--}1 R_{\odot}$, в поперечном — менее $0.1 R_{\odot}$.

Для определения источника джета на изображениях EUVI использовались данные о позиционных углах, на которых он наблюдался на изображениях COR2-A,B. Для STEREO-A позиционный угол составлял $65^{\circ}\text{--}71^{\circ}$ (угол отсчитывается против часовой стрелки от направления на солнечный север, расположенный наверху изображения.), для STEREO-B — $290^{\circ}\text{--}295^{\circ}$. В данном диапазоне углов на изображениях, полученных EUVI-A,B, находится АО NOAA 11146. Таким образом, наблюдаемый нами джет мог сформироваться в результате как пересоединения магнитных силовых линий непосредственно над АО, так и в результате пересоединения с магнитных линий АО с окружающими магнитными линиями «открытой» конфигурации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы использовали одномоментные данные с двух космических аппаратов STEREO, чтобы определить динамические и пространственные характеристики мелкомасштабной неоднородности (джета), наблюдаемой в потоках СВ 15 января 2011 г. Исследуемая неоднородность выглядела на данных коронографа белого света COR2-A,B как объект вытянутой формы, более яркий, чем фон, и перемещающийся от Солнца. В результате проведенного исследования были получены следующие характеристики джета:

- радиальные размеры джета около 1 солнечного радиуса, поперечные — менее $0.1 R_{\odot}$,

- средняя скорость джета составляет 160 ± 30 км/с на расстояниях от 1.6 до 11.8 солнечных радиусов;
- Вероятным источником джета является активная область NOAA 11146.

Авторы благодарят команду STEREO/SECCHI за возможность свободного использования данных инструмента. Работа выполнена в рамках базового проекта П.16.1.6. «Геоэффективные процессы в хромосфере и короне Солнца».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Chen, N.H., Innes, D.E. Undercover EUV Solar Jets Observed by the Interface Region Imaging Spectrograph // *Astrophys. J.* 2016. V. 833, P. 22.
- Filippov B., Koutchmy S., Tavabi E. Formation of a White-Light Jet Within a Quadrupolar Magnetic Configuration // *Solar. Phys.* 2013. V. 286, P. 143–156.
- Gurman J.B., Thompson B.J., Newmark J.A., et al. New images of the solar corona // *ASPCS.* 1998. V. 154. P. 329–344.
- Howard R.A., et al. Sun Earth Connection Coronal and Heliospheric Investigation (SECCHI) // *Space Sci. Rev.* 2008. V. 136, P. 67–115.
- Joshi B., Thalmann J.K., Mitra P.K. Observational and Model Analysis of a Two-ribbon Flare Possibly Induced by a Neighboring Blowout Jet // *Astrophys. J.* 2017. V. 851. P. 29.
- Nisticò G., Bothmer V., Patsourakos S., et al. Characteristics of EUV Coronal Jets Observed with STEREO/SECCHI // *Solar. Phys.* 2009. V. 259. P. 87–108.
- Nisticò G., Bothmer V., Patsourakos S. et al. Observational features of equatorial coronal hole jets // *Ann. Geophys.* 2010. V. 28. P. 687–696.
- Nisticò G., Patsourakos S., Bothmer V., et al. Determination of temperature maps of EUV coronal hole jets // *Adv. Space Res.* 2011. V. 48. P. 1490–1498.
- Paraschiv A.R., Lacatus D.A., Badescu T., et al. Study of Coronal Jets During Solar Minimum Based on STEREO/SECCHI Observations // *Solar Phys.* 2010. V. 264. P. 365–375.
- Raouafi N.E., Patsourakos S., Parlat E. Solar Coronal Jets: Observations, Theory, and Modeling // *Space Sci. Rev.* 2016. V. 201. P. 1–53.
- Sheeley N.R., Wang Y.M., Awhley S.H., et al. Measurements of Flow Speeds in the Corona Between 2 and $30 R_{\odot}$ // *Astrophys. J.* 1997. V. 484. P. 472–478.
- Shimojo M., Hashimoto S., Shibata K., et al. Statistical Study of Solar X-Ray Jets Observed with the YOHKOH Soft X-Ray Telescope // *Publ. Astron. Soc. Jpn.* 1996. V. 48. P. 123–136.
- Shimojo M., Shibata K. Observational Evidence of Magnetic Reconnection in Solar X-Ray Jets // *Adv. Space Res.* 2000. V. 26. P. 449–452.
- St. Cyr O.C., Howard R.A., Simnett G.M., et al. White-Light Coronal Mass Ejections: A New Perspective from LASCO // *ESA SP.* 1997. V. 415. P. 103–110.
- Wang Y.M., N.R. Sheeley J., Walters J.H., et al. Origin of streamer material in the outer corona // *Astrophys. J. Lett.* 1998. L1. P. 565–498.
- Yu H.S., Jackson B.V., Buffington A., et al. The Three-dimensional Analysis of Hinode Polar Jets using Images from LASCO C2, the Stereo COR2 Coronagraphs, and SMEI // *Astrophys. J.* 2014. V. 1. P. 585–784.
- URL: <ftp://stereoftp.nascom.nasa.gov> (дата обращения 27.05.2019).
- URL: https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list (дата обращения 27.05.2019).
- URL: <http://spaceweather.gmu.edu/seeds/secchi.php> (дата обращения 27.05.2019).